

沙河、兴隆、怀柔太阳光学观测 候选台址的比较 (二)

——近地面层大气温度脉动观测

王建民 钱忠钰 艾国祥 史忠先 胡岳凤

(中国科学院北京天文台)

一、概 述

为了获得高分辨率的太阳光学观测条件, 寻找一个适宜的观测地址, 充分发挥仪器的效能, 是一件很有意义的工作。国外近十多年来, 开始改变山地建台的传统, 不少人在水域选址建台。例如美国圣·费南多 (San Fernando) 天文台^[1]、威尔逊山 (Mt. Wilson) 和帕洛玛山 (Mt. Palomar) 天文台^[2]等都在水库和高山水库选址建台, 西欧国家联合在地中海和大西洋选址^[3], 加拿大在渥太华河湾处建台^[4], 效果均明显地好。此外, 还发现提高观测室的地面相对高度, 可以避免近地面大气温度脉动的严重影响。例如基特峰 (Kitt Peak) 天文台把二米望远镜安装在30米高的塔上^[5], 沙克拉门托峰 (Sacramento Peak) 天文台太阳塔高41米^[6], 大熊湖天文台的水上观测室也高达15米以上^[2]。

我台太阳光学观测地址选择, 主要根据我台现有观测站以及考虑今后的发展, 重点比对平原、山地、水域观测质量的优劣。在进行光学观测对比^[7]的同时, 还进行了近地面层大气温度脉动的观测, 归算出对望远镜成像质量的影响, 分别确定平原、山地和水域观测室的相应高度, 以便于作好我台太阳光学观测较好的观测台址的选择。

根据我们的实际情况, 分别选择沙河站 (平原)、兴隆站 (海拔约一千米的山顶)、怀柔 (怀柔水库的一个半岛, 其东、西、南三面均有1—2公里水域) 进行大气温度脉动测量。

在地面上, 温度脉动在近地面层几百公尺内比较明显, 在几十公尺之内温度脉动幅度较大, 随高度变化明显。特别在近地面层的强迫对流层中更为厉害, 当高度升到自由对流层则温度脉动随高度变化开始明显减小, 所以一般选择这两层的交界层作为太阳光学仪器的观测高度。因此利用温度脉动观测可以评定地址的优劣, 特别在确定观测室高度方面有重要的意义。所以把光学直接观测与温度脉动随高度变化的观测结合起来, 有利于一举完成选址及确定观测室高度的任务。

二、实验装置及测量情况

利用铂丝电阻值的温度效应, 组成电阻温度计装在不同高度, 用示波器进行显示。为了

能同时记录下四个不同高度的温度脉动信号，以便对照比较，在示波器前加了电子开关，把示波器光迹振成四根线，分别显示放在不同高度的四个电阻温度计的信号，再用照相的方法记录下来。图1就是整个测量系统示意图。

最初考虑用系留气球携带铂丝温度计作测量，发现气球受风的影响太大，在大于四级风时就根本不能观测。后将铂丝温度计固定在杆子上测量，根据实际可供利用的条件以及对边界层的预计，平原、山地和水域分别使用高50米、40米，24米的杆子，取得的资料如照片所示。

铂丝温度计的铂丝粗约10微米，可测0.3—80赫的温度变化，温度计绕制面积约40毫米×40毫米，测温灵敏度约为 0.01°C ，系统测量误差小于10%，在使用中显示出良好的可靠性和稳定性。

北京地区秋季晴天较多，也是太阳光学观测质量良好的季节，选择九、十月份在三个地点（相距不到100公里），进行大气温度脉动测量。每个地点尽可能保证获得4—5天具有代表性资料，以反映该地区的特点。

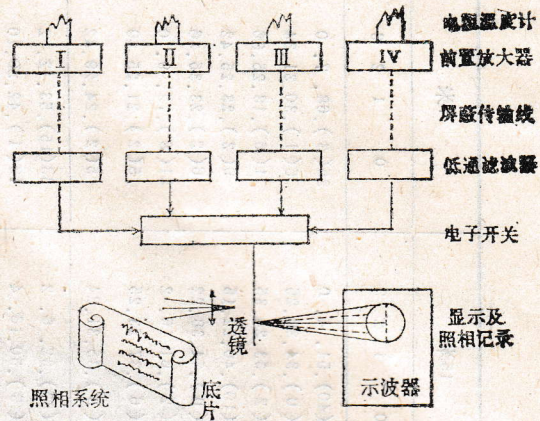


图1 温度脉动测量装置方框图

表1 温度脉动测量情况表

地 点	日 期	天气情况	风 向	风 力	资 料 情 况
沙 河 (平原)	9.3	晴	东南	1—2级	7h、9h、11h、13h、15h、17h
	9.4	晴	西南	0—3级	7h、9h、—、—、15h、17h
	9.5	多云间晴	西北	0—1级	7h、9h、11h、—、—、—
	9.10	多云间晴	西北	4—5级	—、—、—、—、15h、—
	9.12	晴间多云	西北	5级	—、—、11h、—、—、—
	9.14	晴	西北、西南	1—3级	—、9h、11h、13h、15h、17h
	9.15	晴	北、东南	1—3级	—、9h、11h、13h、15h、—
怀 柔 (水域)	9.20	晴	西北	5级	—、—、—、—、15h、17h
	9.21	晴间云	南	1—3级	7h、9h、11h、13h、15h、17h
	9.22	晴	东南	1—3级	—、9h、11h、13h、15h、17h
	9.23	晴	东南	1—2级	—、9h、11h、13h、15h、17h
	9.24	晴间云	东南	0—1级	—、9h、11h、—、—、—
兴 隆 (山地)	9.26	晴	东南	1—3级	—、9h、11h、13h、15h、17h
	9.27	多云间晴	东北	1—2级	7h、9h、—、—、—、—
	9.28	多云间晴	西北	2级	—、—、—、13h、—、—
	10.4	晴	西北	3—4级	7h、9h、11h、13h、15h、17h
	10.5	晴	西南	4—5级	7h、9h、11h、13h、15h、17h

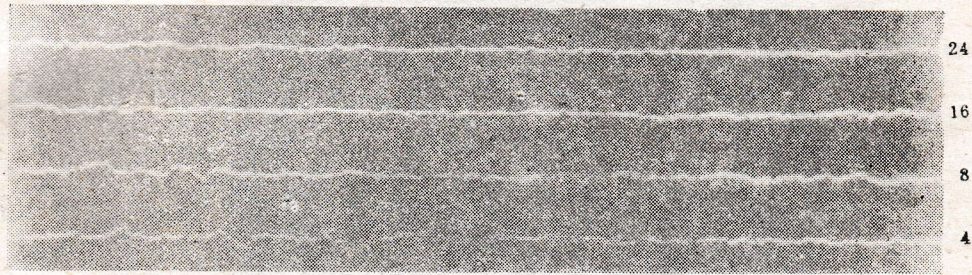
9月3日先在沙河站观测，共观测七天，其中9月3日、14日、15日资料完整，9月14日日间有五级左右的西南风。怀柔的观测从9月20日开始，连续五个晴天，其中三天资料完

表 2 温度脉动振幅在每一时段中所占百分比

观测地点	高度等级		50米			40米			30米			15米			7米							
	时间	等级	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3				
沙河(平原)	07h 00		85(74)	15	0	0	—	—	—	59(34)	41	0	0	46(40)	51	4	0	25(3)	68	7	0	
	09h 00		24(11)	55	15	6	2(0)	46	15	38	12(3)	35	33	20	3(0)	34	39	25	5(1)	30	31	34
	11h 00		29(21)	39	25	8	35(20)	32	25	9	17(9)	37	31	16	6(2)	33	24	35	1(0)	18	25	56
	13h 00		39(24)	44	17	0	48(34)	41	12	1	30(10)	50	17	3	24(10)	40	22	15	9(3)	23	25	42
	15h 00		42(25)	38	17	4	23(6)	42	27	9	30(16)	39	20	11	6(0)	34	38	22	6(2)	23	35	36
	17h 00		55(38)	41	4	0	65(37)	34	2	0	49(23)	50	2	0	24(2)	61	15	2	21(8)	72	9	0
	11h 13h		34(23)	42	21	4	42(27)	37	19	5	24(10)	44	24	10	15(6)	37	23	25	5(2)	21	25	49
	9h 11h 13h 15h		34(20)	44	19	5	27(15)	40	20	14	22(10)	40	25	13	10(3)	35	31	24	5(2)	24	29	42
	07h 00						65(35)	27	7	1	64(39)	30	3	1	58(35)	32	8	2	33(15)	53	12	2
	09h 00						51(25)	36	14	1	49(21)	40	9	2	30(5)	50	16	4	18(1)	42	29	10
11h 00						24(10)	47	21	9	19(8)	40	30	12	17(4)	35	27	19	6(2)	23	33	38	
13h 00						23(8)	38	21	18	18(5)	41	22	19	6(0)	29	34	31	2(0)	28	31	42	
15h 00						32(15)	35	24	10	23(11)	38	25	11	13(2)	33	36	19	3(0)	16	29	52	
17h 00						68(49)	28	4	0	71(52)	26	4	0	80(58)	18	3	0	72(51)	27	1	0	
11h 13						24(9)	43	21	14	19(7)	41	26	16	12(2)	32	31	25	4(1)	24	32	40	
9h 11h 13h 15h						33(15)	39	20	10	27(11)	40	22	11	17(3)	37	28	18	7(1)	27	31	36	
怀柔(水域)	07h 00		38(21)	51	11	1	38(21)	48	14	0	45(15)	51	4	0	65(41)	24	9	2	注: ()为连续10秒 以上时间内出现0级脉 动的百分比。			
	09h 00		71(46)	27	2	1	69(38)	28	4	0	65(40)	34	1	0	51(28)	38	6	8				
	11h 00		80(56)	20	1	0	82(65)	16	2	0	72(45)	28	2	0	47(18)	42	9	2				
	13h 00		89(78)	11	0	0	78(62)	19	2	0	62(41)	31	6	1	48(26)	35	10	8				
	15h 00		77(59)	22	2	0	74(56)	23	3	0	62(39)	30	7	1	36(11)	39	17	9				
	17h 00		92(70)	9	0	0	82(67)	18	1	0	60(35)	31	8	3	40(13)	39	17	5				
	11h 13h		85(67)	16	0	0	80(64)	18	2	0	67(43)	29	4	0	48(22)	39	10	5				
	9h 11h 13h 15h		79(60)	20	1	0	76(55)	22	3	0	65(41)	31	4	0	46(21)	39	11	6				

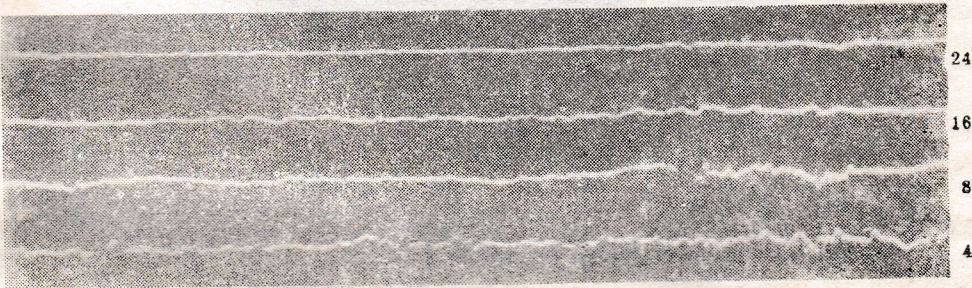


1985.9.23.13^h



1985.9.22.13^h

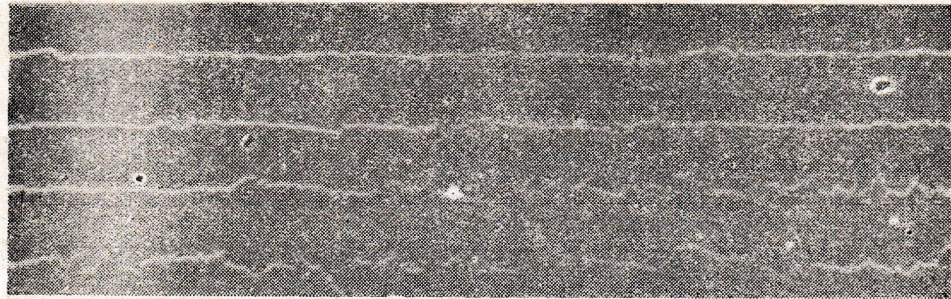
1·K



1975.9.24.11^h

1 秒

怀 柔



1秒

兴 隆
温 度 脉 动 曲 线 照 相 记 录



50米

30

15

7



50

30

15

7

1'K



50

30

15

7

1秒

沙河

整, 9月20日有五级左右的西北风。兴隆9月26日开始观测, 10月5日结束, 其中9月26日, 10月4日, 5日资料完整, 10月5日有五级左右西南风, 10月4日是雨后的第一个晴天(见表1)。

全天观测时段的选择为7^h、9^h、11^h、13^h、15^h、17^h共六段, 每一时段观测四分钟, 可得胶卷160厘米, 每个地点可供分析的胶卷都在30米以上。

测量高度的确定, 沙河为50米、40米、30米、15米、7米; 兴隆为40米、30米、10米、7米; 怀柔为(距半岛地面)24米、16米、8米、4米, 半岛地面距水面约2—3米。其中沙河、兴隆的7米高度, 怀柔8米高度分别对应光学观测仪器物镜的高度。

三、资料的分析处理

地球大气对天文光学仪器成像质量的影响, 主要是折射率不均匀所引起的; 在可见光区折射率的不均匀主要取决于温度不均匀, 有如下关系⁽⁸⁾

$$C_n \approx \frac{8 \times 10^{-5} \cdot P}{T^2} C_T \quad (1)$$

其中T为观测时绝对温度, P以毫巴为单位的大气压。因此, 只要测量出大气的温度分布结构, 就可以了解折射率的不均匀分布。

我们用两种方法处理原始资料: 一种是测量温度脉动幅度的平均值, 这种方法比较简单而不直观, 但处理方便, 易处理大量数据。另一种是求温度转换函数的方法, 比较直观, 可以直接看出成像质量, 物理内容明确, 但处理比较繁杂。我们对三个地点的近地面层的转换函数作了典型处理, 而大量的观测数据则以求温度脉动幅度的平均值方法处理。

1. 近地面层温度脉动幅度的平均值

首先将照相记录的温度脉动曲线(如照片), 以 $t=1$ 秒为间隔, 按振幅大小分为四个等级, 求出在每一时段中各个等级所占百分比, 结果列表2中。

根据测量系统的定标, 胶卷上每1毫米相当于温度 $0^{\circ}.06565C$, 然后确定0级对应于温度脉动幅度为 $0^{\circ}.04C$ 、1级为 $0^{\circ}.10C$ 、2级为 $0^{\circ}.25C$ 、3级为 $0^{\circ}.60C$ 。用这个结果与表2中对应相乘, 就得到了每个观测地点、每个高度、每个时间的温度脉动幅度的平均值(表3)。

2. 调制转换函数

我们用下列办法处理并计算近地面层大气调制转换函数: 在原始资料中, 在按温度振幅所分的四个等级中选择典型的照相记录, 以 $t=0.1$ 秒为间隔, 测量出每个等级的温度脉动幅度的平均值 $D_T(L, h)$ 。据 $C_T^2 = \frac{D_T^2}{L^{2/3}}$, 又 $L=v \cdot t$, v 为观测时平均风速, t 为所取的时间间隔(0.1秒), 从而得到每个等级的温度脉动结构系数 $C_T(h)$ 。将 $C_T(h)$ 和表2对应相乘, 就可以得到每个地点、每个高度, 每个时间的 C_T 值。

从(1)式由温度结构系数 C_T 求出折射率的结构系数 C_n 。

在大气层中, 在局部均匀各向同性的湍流介质中波结构函数的表示式为⁽⁸⁾:

$$D_w(r) = 2.91 (2\pi/\lambda)^2 r^{5/3} \text{Sec} \omega \int_{h_1}^h C_n^2(H) dH \quad (2)$$

这里 ω 是太阳的天顶距,与测量的时间有关, H 是距离地面的垂直高度。考虑到近地面层是影响温度脉动的主要因素,我们取 $H_1=50$ 米、 $H_2=4$ 米。

表3 温度脉动振幅的平均值

观测地点	时 间	50米	40米	30米	15米	7米
沙 河 (平原)	07h 00	0.049	—	0.065	0.089	0.096
	09h 00	0.138	0.315	0.243	0.283	0.314
	11h 00	0.162	0.163	0.222	0.305	0.117
	13h 00	0.103	0.096	0.123	0.194	0.342
	15h 00	0.130	0.173	0.167	0.261	0.329
	17h 00	0.073	0.065	0.075	0.120	0.098
	11h 13h	0.133	0.130	0.174	0.251	0.380
	9h 11h 13h 15h	0.133	0.187	0.189	0.261	0.351
兴 隆 (山地)	07h 00		0.077	0.070	0.087	0.108
	09h 00		0.097	0.095	0.126	0.182
	11h 00		0.164	0.195	0.224	0.336
	13h 00		0.208	0.217	0.302	0.356
	15h 00		0.168	0.176	0.242	0.402
	17h 00		0.065	0.064	0.058	0.059
	11h 13h		0.190	0.210	0.273	0.346
	9h 11h 13h 15h		0.159	0.171	0.224	0.319
怀 柔 (水域)		24米	16米	8米	4米	
	07h 00	0.100	0.098	0.079	0.085	
	09h 00	0.066	0.066	0.063	0.109	
	11h 00	0.055	0.054	0.062	0.096	
	13h 00	0.047	0.055	0.077	0.127	
	15h 00	0.058	0.061	0.079	0.150	
	17h 00	0.046	0.054	0.093	0.128	
	11h 13h	0.050	0.055	0.066	0.113	
9h 11h 13h 15h	0.057	0.059	0.070	0.121		

由波结构函数计算大气湍流的调制转换函数,已经有人作过大量的工作⁽⁸⁾。

$$\langle M(f) \rangle_{t' \rightarrow \infty} = \exp\left[-\frac{1}{2}D_w(r)\right] \quad (3)$$

$$\langle M(f) \rangle_{t' \neq \infty} = \exp\left\{-\frac{1}{2}D_w(r)\left[1 - \left(\frac{\lambda F f}{D}\right)^{1/3}\right]\right\} \quad (4)$$

$$\langle M(f) \rangle_{t' \neq \infty} = \exp\left\{-\frac{1}{2}D_w(r)\left[1 - \frac{1}{2}\left(\frac{\lambda F f}{D}\right)^{1/3}\right]\right\} \quad (5)$$

(3)式是在像的积分时间相当长时(长曝光)的关系式,(4)、(5)式是当像的积分时间足够短时(短曝光)的关系式;其中(4)式是对近场衍射效应时,即 $D \gg \sqrt{\lambda h}$ 时适用,(5)式是对远场衍射效应时,即 $D \ll \sqrt{\lambda h}$ 时适用,我们仅用(4)式。

(4)式中 f 为象平面上空间频率, F 为光学成像系统的焦距, D 为望远镜物镜口径。

如果改为角频率:

$$(9) \quad f' = \frac{1}{206265} \cdot f \cdot F = \frac{1}{206265} \cdot \frac{r}{\lambda}$$

将 $r = 206265 \lambda f'$, $f = 206265 \cdot \frac{f'}{F}$ 代入 (3), (4) 式则:

$$\langle M(f') \rangle_{t' \rightarrow \infty} = \exp\left[-\frac{1}{2} D_w (206265 \lambda f')\right] \quad (6)$$

$$\langle M(f') \rangle_{t' \neq \infty} = \exp\left\{-\frac{1}{2} D_w (206265 \lambda f') \left[1 - \left(\frac{\lambda}{D} 206265 f'\right)^{1/3}\right]\right\} \quad (7)$$

计算时, 我们取 $D = 35$ 厘米, $\lambda = 5.324 \times 10^{-5}$ 厘米, 计算结果在图2中表示。

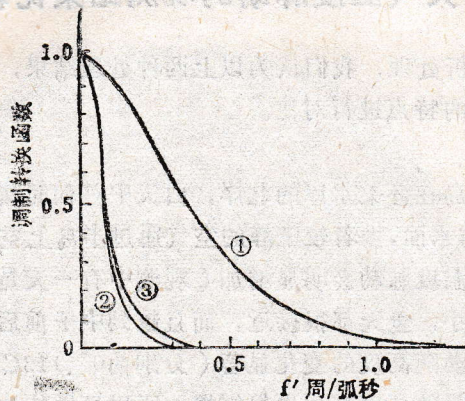


图2 通过大气层4—50米距离上在11^h, 13^h的平均调制转换函数(长曝光)

$D = 35$ 厘米, $\lambda = 5.324 \times 10^{-5}$ 厘米

①怀柔(水域)、②兴隆(山地)、③沙河(平原)

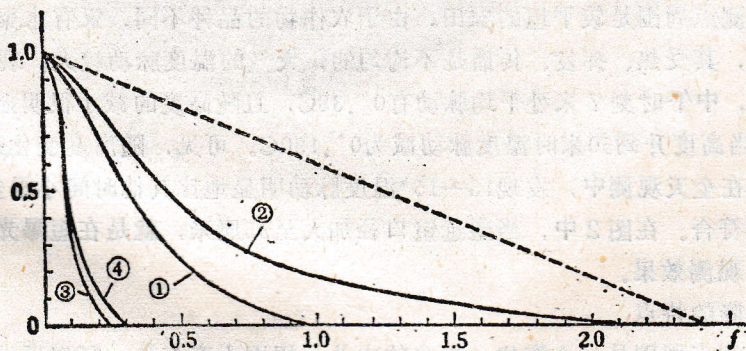


图3 望远镜通过4—50米近地面层的合成系统的调制转换函数 $D = 35$ 厘米, $\lambda = 5.324 \times 10^{-5}$ 厘米

①怀柔(长曝光)、②怀柔(短曝光)、③沙河(长曝光)、④兴隆(长曝光)折线是望远镜调制转换函数

受衍射限制的望远镜的调制转换函数, 在天文学中普遍应用的表示式为^[9]:

$$A(f) = \frac{2}{\pi} \left\{ \cos^{-1} \left(\frac{\lambda F f}{D} \right) - \frac{\lambda F f}{D} \left[1 - \left(\frac{\lambda F f}{D} \right)^2 \right]^{1/2} \right\} \quad (8)$$

将 $f = 206265 \frac{f'}{F}$ 代入 (8) 式,

$$A(f') = \frac{2}{\pi} \left\{ \cos^{-1} \left(206265 \frac{\lambda f'}{D} \right) - 206265 \frac{\lambda f'}{D} \left[1 - \left(206265 \frac{\lambda f'}{D} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\} \quad (9)$$

这是望远镜在无大气条件下的调制转换函数表达式(图3)。

(6)、(7)式和(9)式相乘,就是望远镜通过近地面大气层的合成系统的调制转换函数(图3)。实际上就是望远镜在通过沙河、兴隆和怀柔的4—50米近地面层的成像质量。

四、怀柔(水域)、沙河(平原)、兴隆(山地) 大气温度脉动的观测结果比较

通过对原始资料的分析处理,我们认为以上两种处理结果,定性的结论是一致的。下面就综合怀柔、沙河、兴隆的特点进行对比。

1. 怀柔的特点

怀柔观测点所在的半岛在怀柔水库的北岸,白天中任何时候,观测太阳的视线均通过水面,东南风经过均匀加热的水面,携着较宁静的空气通过半岛上空,因此,这时温度脉动很小。但是,如果刮北风时温度脉动会明显增加(观测中有一天是刮西北风)。观测表明:怀柔温度脉动振幅的平均值小,全天都很接近,而且越到中午前后,温度脉动越小。从图4.5看出,4—8米的温度脉动随高度的变化显著(分别为 $0^{\circ}.113\text{C}$ 和 $0^{\circ}.066\text{C}$),超过10米,温度脉动就相当小了;而且随高度变化也很缓慢。所以怀柔的边界层在10米左右。图2也表明,在4—50米距离,大气对太阳像质量的影响,显然怀柔的情况要优越得多。当选用望远镜物镜口径为35厘米时,将大为减少这一层对太阳像的变坏的影响。

2. 沙河的特点

沙河观测点周围是较平坦的农田,由于农作物的品种不同,又有水渠、道路等,当被太阳光照射后,其受热、挥发、传播是不均匀的,大气的温度脉动较大。观测表明,沙河近地面温度脉动,中午时刻7米处平均脉动有 $0^{\circ}.38\text{C}$,且随高度的减小很明显;到30米时减小到 $0^{\circ}.174\text{C}$ 。当高度升到50米时温度脉动减为 $0^{\circ}.130\text{C}$ 。可见,随高度变化逐渐平稳(见图4、5)。在全天观测中,发现13—15^h温度脉动明显地比其他时间小得多,这和光学观测结果基本相符合。在图2中,当望远镜口径加大至35厘米,就是在短曝光的情况下,也很难收到良好的观测效果。

3. 兴隆的特点

兴隆观测点周围是一个海拔一千米的山头,周围山峦起伏,所以近地面层的大气不均匀,必然影响成像质量。虽然中午时刻7米处温度脉动平均为 $0^{\circ}.346\text{C}$,比沙河要好些,但兴隆随高度的变化不如沙河明显,到30米处仍有 $0^{\circ}.210\text{C}$ 的脉动,高于30米时,随高度的这种变化才缓慢下来。兴隆山地以9^h前后的温度脉动最小,和光学观测结果是一致的。图2也可看出兴隆和沙河的成像质量几乎相近,都不及怀柔的情况好。

4. 怀柔、沙河、兴隆的比较

综合分析,怀柔观测点的大气温度脉动较之沙河、兴隆要平稳得多;在4—50米的近地面层显然也是具有相当水域的怀柔才能提供好的成像质量。因而,怀柔是这三个观测点中明

显优越的太阳观测地点，这一结论也是和光学观测一致的。

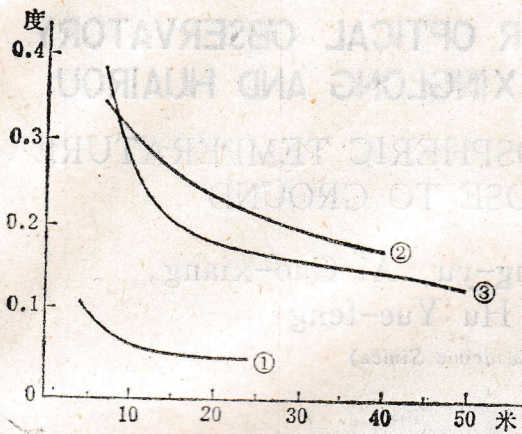


图4 11h, 13h温度脉动幅度的平均值随高度变化

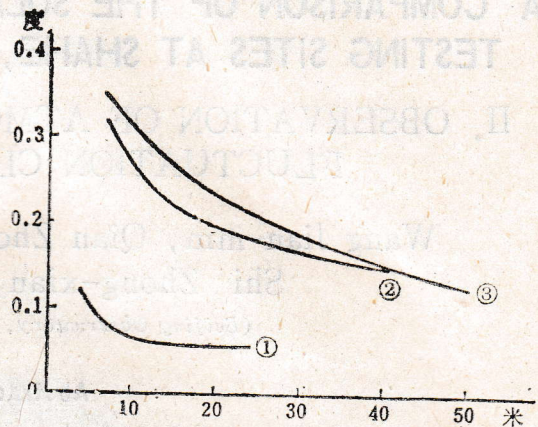


图5 9h, 11h, 13h, 15h温度脉动幅度的平均值随高度变化

怀柔全天的天气情况都很好，也比较接近，这对全天巡视观测是很有利的。图6是在连续10秒钟以上时间内出现0级的百分比随高度的变化情况，从9—15h的平均结果看，沙河50米处连续平稳的时段只占20%，兴隆40米处只占15%，而怀柔16米处就占55%。所以怀柔具有长时间（10秒以上）的大气宁静状态，这也是兴隆、沙河所不可比拟的。

如果在怀柔建观测室，只要有10米高就可以取得较好的结果。结合图6分析，当观测室高达16米时将会出现更多地连续10秒以上好成像质量的机会。

在沙河和兴隆，必须修建高于40米的观测室，才能达到与沙河、兴隆地区相宜大气边界层高度，但远赶不上怀柔16米的高度。仅从温度脉动的大小来看，怀柔的4米高度的质量，超过沙河、兴隆的40米。这些结果清楚表明，从近地面层的条件，对于太阳光学观测（可见区）来说，沙河（平原）、兴隆（山地）均不可取，而怀柔（水域）具有独特的优越性。

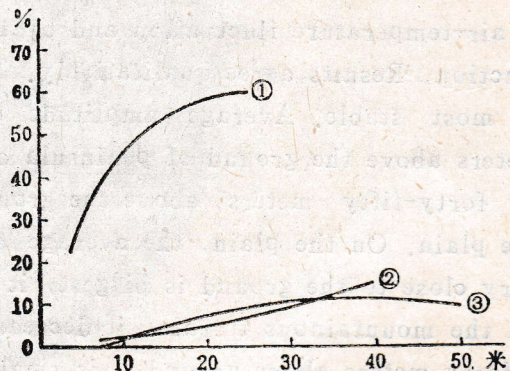


图6 9h, 11h, 13h, 15h连续10秒以上出现0级脉动的百分比随高度变化

①怀柔，②兴隆，③沙河

参 考 文 献

- [1] Mayfield, E. B., sky and Tele., 37 (1969), 208.
- [2] Zirin, H., sky and Tele., 39 (1970), 215.
- [3] Kiepenheuer, K. O., 1972 Mitt. Astron. Ges 31, 147.
- [4] Gaizauskas, V. and Krrworuchko, A., 1973. J. R. A. S., Canada, 67, 5.
- [5] Pierce, A. K., Solar phys., 2 (1969), 240.
- [6] Evans, J. W., Solar Phys., 1 (1967), 157.
- [7] 史忠先等, 沙河、兴隆、怀柔, 太阳光学观测候选台址的比较, 天文学报, 18 (1977).
- [8] Coulman, C. E., Solar Physics, 7 (1969), No. 1, 122.
- [9] Friedo, A. L., J. Apt. Soc. Amer., 56 (1966), 1372.

A COMPARISON OF THE SOLAR OPTICAL OBSERVATORY TESTING SITES AT SHAHE, XINGLONG AND HUIROU

II. OBSERVATION OF ATMOSPHERIC TEMPERATURE FLUCTUATION CLOSE TO GROUND

Wang Jian-min, Qian Zhong-yu, Ai Guo-xiang,
Shi Zhong-xian, Hu Yue-feng

(Beijing Observatory, Academia Sinica)

Abstract

Measurements and comparison of temperature fluctuation very close to ground for three different terrains which are plain (Shahe), mountainous terrain (Xinglong) and reservoir (Huairou) have been investigated. Data obtained have been dealt with by the calculation of average amplitude of vibration of air-temperature fluctuation and by the calculation of the modulation transfer function. Results agree qualitatively. The atmosphere on the water (reservoir) is most stable. Average amplitude of air-temperature fluctuation at four meters above the ground of peninsula of Huairou reservoir is smaller than those at forty-fifty meters above the ground at either the mountainous terrain or the plain. On the plain, the average amplitude of air-temperature fluctuation very close to the ground is biggest, it rapidly decreases with increase of height on the mountainous terrain, it decreases slowly with height so that, at thirty to forty meters above ground, it is smaller for the plain, than for the mountainous terrain. Heights of boundary layers have been investigated. Heights of optical solar observatory towers have been proposed; fifteen-twenty meters for the water surface; thirty-forty meters for mountainous terrain; forty-fifty meters for the plain.